

2

31)

Int. Cl. 2:

H 01 S 3-05

H 01 S 3-18

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

1
9
1

Auslegeschrift 24 13 493

11)

20)

22)

43)

44)

Aktenzeichen: P 24 13 493.8-33

Anmeldetag: 20. 3. 74

Offenlegungstag: 3. 10. 74

Bekanntmachungstag: 19. 2. 76

50)

Unionspriorität:

52) 43) 31)

20. 3. 73 Japan 48-32362

20. 3. 73 Japan 48-32363

54)

Bezeichnung:

Halbleiter-Injektionslaser mit zweifach-heterogenem Schichtaufbau und Verfahren zu seiner Herstellung

71)

Anmelder:

Matsushita Electronics Corp., Kadoma, Osaka (Japan)

74)

Vertreter:

Jung, E., Dipl.-Chem. Dr.phil.; Schirdewahn, J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Pat.-Anwälte, 8000 München

72)

Erfinder:

Itoh, Kunio; Inoue, Morio; Takatsuki (Japan)

56)

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

GB 12 63 835

US 34 56 209

Fig. 4

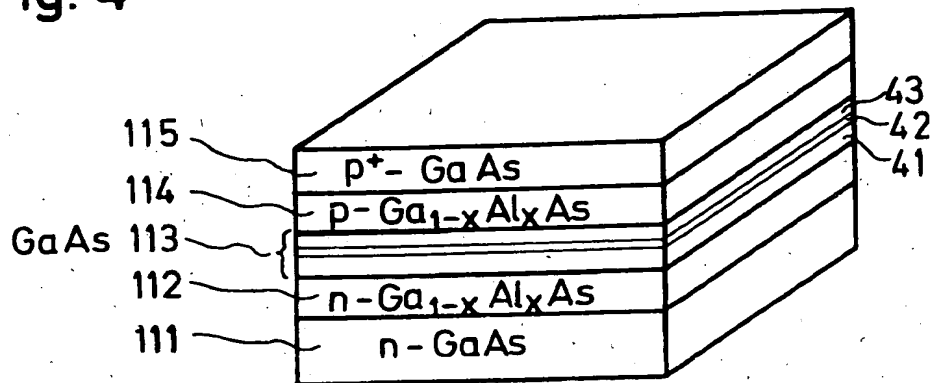
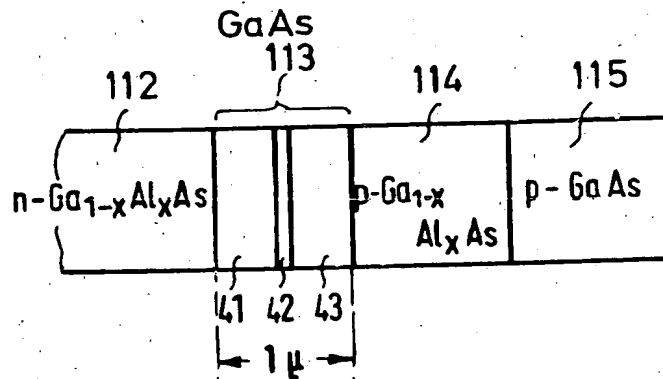
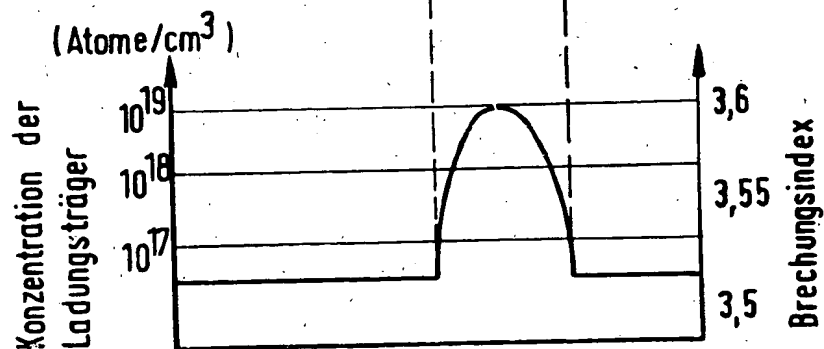


Fig. 5

(a)



(b)



Patentansprüche:

1. Halbleiter-Injektionslaser mit zweifach-heterogenem Schichtaufbau, bei dem die laseraktive GaAs-Schicht aus mehreren Einzelschichten unterschiedlicher Dotierungskonzentration besteht, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Einzelschicht (34, 42) die höchste Ladungsträgerkonzentration und die anderen Einzelschichten (31 bis 33, 35 bis 37; 41, 43) eine um so niedrigere Ladungsträgerkonzentration aufweisen, je weiter sie von der mittleren Einzelschicht (34; 42) entfernt sind.

2. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Injektionslasers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelschichten (31 bis 37) der laseraktiven Schicht aus Lösungen abgeschieden werden, deren Dotierstoffgehalt jeweils der Dotierungskonzentration dieser Schichten im fertigen Laser entspricht.

3. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiter-Injektionslasers nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die laseraktive Schicht eine undotierte (41), eine hochdotierte (42) und eine weitere undotierte Schicht (43) übereinander epitaktisch abgeschieden werden und daß der Halbleiterkörper nach dem Abscheiden aller Schichten einer 30minütigen Hitzebehandlung bei 800°C unterworfen wird.

Die Erfindung betrifft einen Halbleiter-Injektionslaser mit zweifach-heterogenem Schichtaufbau, bei dem die laseraktive GaAs-Schicht aus mehreren Einzelschichten unterschiedlicher Dotierungskonzentration besteht.

Laser dieser Art sind bekannt (GB-PS 12 63 835). Es ist hierbei auch schon bekannt, den Brechungsindex in der aktiven GaAs-Schicht von der Mitte aus nach beiden Seiten abnehmend auszubilden oder die mittlere Einzelschicht dieser aktiven GaAs-Schicht mit der geringsten Ladungsträgerkonzentration auszustatten und die daran nach beiden Seiten anschließenden anderen Einzelschichten mit entsprechender höherer Ladungsträgerkonzentration auszustatten (Anspruch 2 der US-PS 34 56 209). Ein Nachteil dieser bekannten Laseranordnung ist der immer noch relativ hohe Schwellenstrom, der bei kontinuierlichem Betrieb bei Raumtemperatur stört. Es ist an sich bekannt, daß dieser Schwellenstrom abnimmt, wenn die

Dicke der laseraktiven Schicht verringert wird. Eine Verringerung der Schichtdicke auf weniger als 0,3 µm führt jedoch zu keiner weiteren Verbesserung und Herabsetzung des Schwellenwertes der Stromdichte, weil das Licht durch Leckstellen in die benachbarten Schichten gelangt.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Halbleiter-Injektionslaser der eingangs erwähnten Art so weiterzubilden und zu verbessern, daß der Schwellenstrom weiter herabgesetzt wird.

Diese Aufgabe wird, ausgehend von einem Laser der eingangs erwähnten Art, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die mittlere Einzelschicht die höchste Ladungsträgerkonzentration und die anderen Einzelschichten eine um so niedrigere Ladungsträgerkonzentration aufweisen, je weiter sie von der mittleren Einzelschicht entfernt sind.

Eine erfindungsgemäße Laseranordnung ermöglicht extrem niedrigen Schwellenstrom.

Vorteilhafte Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Halbleiter-Injektionslasers sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand schematischer Zeichnungen an zwei Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt einen Halbleiter-Injektionslaser, bei dem auf einer n-leitenden GaAs-Grundschrift 11 eine erste n-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Schicht 12, eine zweite laseraktive GaAs-Schicht 13, eine dritte p-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Schicht 14 und zur Herstellung eines ohmschen Kontaktes eine vierte p⁺-leitende GaAs-Schicht 15 nacheinander mittels des bekannten epitaktischen Aufwachsverfahrens in flüssiger Phase aufgebracht werden. Die laseraktive Schicht 13 besteht aus vielen Einzelschichten, von denen die mittlere Schichtkomponente die höchste Ladungsträgerkonzentration aufweist und die anderen Einzelschichten eine um so niedrigere Ladungsträgerkonzentration aufweisen, je weiter sie von der mittleren Einzelschicht entfernt sind. Die Ladungsträgerkonzentrationen lassen sich durch verschiedene Dotierungszusätze zu den verschiedenen Einzelschichten verändern.

Die Herstellung der einzelnen Schichten erfolgt mit einer in Fig. 2 gezeigten Vorrichtung, bei der in den Bohrungen 21 bis 30 eines Behälters 17 zehn Halbleiterlösungen enthalten sind. Dieser Behälter 17 ist über einen Graphitgleiter 18 gleitend angeordnet, in welchem ein n-leitender GaAs-Halbleiterkeim 19 eingelegt ist. Die zehn Bohrungen 21 bis 30 enthalten Lösungen der nachfolgenden Tabelle I.

Tabelle I

Bohrung	Halbleiterlösungen	Aufwachsschichten	Konzentration der Ladungsträger in den Schichtkomponenten der laseraktiven Schicht 13 (Atome/cm ³)
21	Sn-dotiertes $Ga_{1-x}Al_xAs$	laser-aktive Schicht 13	12 ... n- $Ga_{1-x}Al_xAs$
22	Zn-dotiertes GaAs		31 ... GaAs
23	Zn-dotiertes GaAs		32 ... GaAs
24	Zn-dotiertes GaAs		33 ... GaAs
25	Zn-dotiertes GaAs		34 ... GaAs
26	Zn-dotiertes GaAs		35 ... GaAs
27	Zn-dotiertes GaAs		36 ... GaAs
28	Zn-dotiertes GaAs		37 ... GaAs
29	Zn-dotiertes $Ga_{1-x}Al_xAs$		14 ... p- $Ga_{1-x}Al_xAs$
30	Zn-dotiertes GaAs		15 ... p ⁺ -GaAs
			unter 10 ¹⁶
			10 ¹⁶ — 10 ¹⁷
			10 ¹⁷ — 10 ¹⁸
			10 ¹⁸ — 10 ¹⁹
			10 ¹⁷ — 10 ¹⁸
			10 ¹⁸ — 10 ¹⁷
			unter 10 ¹⁸

Aus der v rstehenden Tabelle geht hervor, daß die Halbleiterlösung in der mittleren Bohrung 25 die höchste Dotierung aufweist und daß die Lösungen in den anderen Bohrungen eine um so geringere Dotierung aufweisen, je weiter sie von der mittleren Bohrung 25 entfernt sind.

Die Aufwachsschichten auf dem n-leitenden GaAs-Keim 19 werden nacheinander hergestellt, indem man bei der ersten Schicht 12 von 850°C ausgeht, mit einer Geschwindigkeit von 1°C je Minute abkühlt und dabei den in Fig. 2 gezeigten Graphitleiter 18 nach rechts verschiebt. Die Abkühlzeit für die erste epitaktische n-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Aufwachsschicht 12 beträgt 20 Minuten, die Abkühlzeit für jede Schichtkomponente 31 bis 37 der laseraktiven GaAs-Schicht 13 beträgt je 8 Sekunden, die Abkühlzeit für die dritte p-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Schicht 14 beträgt 1 Minute, und die Abkühlzeit für die vierte p⁺-leitende GaAs-Schicht 15 beträgt 3 Minuten.

Der Hauptteil des mittels des vorgenannten Verfahrens hergestellten Lasers ist in Fig. 3 als vereinfachter Schnitt durch die Aufwachsschichten dargestellt. Wie aus dieser Figur hervorgeht, besteht die laseraktive Schicht 13 aus 7 Schichtkomponenten 31 bis 37. Jede Schichtkomponente weist eine Dicke von ungefähr 0,15 µm auf, was einer Dicke der laseraktiven Schicht 13 von etwa 1,05 µm entspricht. Die erste und die dritte Aufwachsschicht weisen eine Dicke von ungefähr 2,5 bzw. 1 µm auf.

Der Laser gemäß diesem ersten Ausführungsbeispiel ermöglicht im niedrigsten Zustand einen Schwellenwert der Stromdichte von nur 100 A/cm², der mit herkömmlichen Lasern bisher nicht erreichbar war. Das Verhältnis zwischen der Dicke »d« der laseraktiven Schicht 13 und dem Schwellenwert der Stromdichte J_{sch} ist in Fig. 6 dargestellt, in der die aus-

gezogene Kurve die Charakteristik des Lasers gemäß dieser ersten Ausführungsform darstellt, während die gestrichelte Linie die Charakteristik eines herkömmlichen Lasers zeigt. Mittels des erfindungsgemäßen Lasers wird ein Laser-Licht mit einer Wellenlänge von 9000 Å erzeugt.

Es wird angenommen, daß der Grund für die vorbeschriebene Herabsetzung des Schwellenwertes der Stromdichte darauf zurückgeht, daß gegebenenfalls in den äußeren Schichtkomponenten 31 bis 33 und 35 bis 37 durch Rekombination der Ladungsträger in diesen Schichtkomponenten abgestrahltes Licht in der mittleren Schichtkomponente 34 absorbiert, diese Schichtkomponente 34 angeregt und das Laserlicht aus ihr abgestrahlt wird. Diese Annahme wird durch die Beobachtung des »nahen Feldes« bestätigt, das die Verteilung des elektromagnetischen Feldes am Reflexionsspiegel des Lasers wiedergibt.

Bei dem zweiten Ausführungsbeispiel nach Fig. 4 werden auf eine n-leitende GaAs-Grundschrift 111 eine erste n-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Schicht 112, eine zweite laseraktive GaAs-Schicht 113, eine dritte p-leitende $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Schicht 114 und zur Herstellung eines ohmschen Kontakts eine vierte p⁺-leitende GaAs-Schicht 115 nacheinander durch das bekannte epitaktische Aufwachsverfahren in flüssiger Phase aufgebracht. Die vorbeschriebene laseraktive Schicht 113 besteht aus einer mittleren Schicht 42 hoher Ladungsträgerkonzentration, die sandwichartig in die äußeren Schichten 41 und 43, die niedrigere und nach außen abfallende Ladungsträgerkonzentrationen aufweisen, eingebettet ist.

Ein solcher Laser wird durch aufeinanderfolgende Ausbildung von epitaktischen Aufwachsschichten unter Verwendung von Halbleiterlösungen der nachfolgenden Tabelle II hergestellt.

Tabelle II

Bohrung	Halbleiterlösungen	Aufwachsschichten	Konzentration der Ladungsträger in den Schichtkomponenten der laseraktiven Schicht (Atome/cm ³)
1	Sn-dotiertes $Ga_{1-x}Al_xAs$	laser-aktive Schicht 113	112 ... n- $Ga_{1-x}Al_xAs$
2	nicht dotiertes GaAs		41 ... GaAs
3	Zn-dotiertes GaAs		42 ... GaAs
4	nicht dotiertes GaAs		43 ... GaAs
5	Zn-dotiertes $Ga_{1-x}Al_xAs$	114	p- $Ga_{1-x}Al_xAs$
6	Zn-dotiertes GaAs	115	p ⁺ -GaAs

Wie aus der vorstehenden Tabelle ersichtlich, weist die Halbleiterlösung in der dritten Bohrung, die zur Herstellung der mittleren Schicht 42 der laseraktiven Schicht 113 verwendet wird, eine hohe Zink-Dotierung auf, während die Halbleiterlösungen in der zweiten und vierten Bohrung nicht dotiert sind.

Bei der aufeinanderfolgenden Herstellung der Aufwachsschichten auf der Grundschrift 111 geht man für die erste Schicht 112 von einer Temperatur von 850°C aus und kühlt mit einer Geschwindigkeit von 1°C je Minute ab. Die Abkühlperiode zur Herstellung der ersten epitaktischen n-leitenden $Ga_{1-x}Al_xAs$ -Aufwachsschicht 112 beträgt 20 Minuten, die Abkühl-

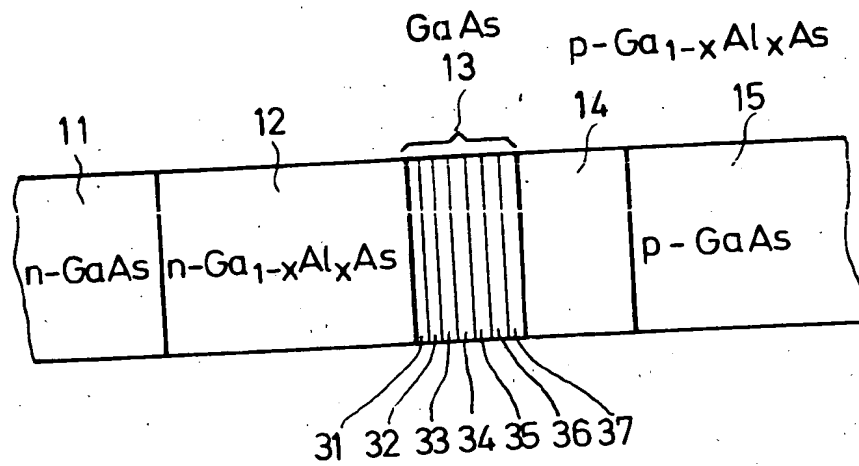
periode für jede der äußeren Schichtkomponenten 41 und 43 der laseraktiven Schicht aus nichtdotiertem GaAs beträgt jeweils 24 Sekunden, und die Abkühlperiode für die mittlere Schichtkomponente 42 der laseraktiven Schicht aus hochdotiertem GaAs beträgt 8 Sekunden, die Abkühlperiode für die dritte Aufwachsschicht 114 aus p-leitendem $Ga_{1-x}Al_xAs$ beträgt 1 Minute, und die Abkühlperiode für die vierte Aufwachsschicht 115 aus p⁺-leitendem GaAs beträgt 3 Minuten. Anschließend wird das hergestellte Element einer 30minütigen Hitzebehandlung bei 800°C unterworfen. Die Hitzebehandlung führt dazu, daß die Zn-Dotierung aus der mittleren Schichtkompo-

42 der laseraktiven Schicht in die äußeren Lichtkomponenten 41 und 43 dieser Schicht diffundiert und dadurch eine glockenförmige Verteilung der Konzentration der Ladungsträger in der laseraktiven Schicht 113, wie in Fig. 5(b) gezeigt, herge-
wird.

Der vorbeschriebene Laser gemäß der zweiten Ausführungsform ermöglicht im niedrigsten Zustand einen Schwellenwert der Stromdichte von nur 100 A/cm^2 , ein Schwellenwert, der mit herkömmlichen Lasern nicht erreichbar ist. Dieser Laser erzeugt ein Licht mit einer Wellenlänge von 9000 \AA .

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 3



409 508/310

2 626

Fig. 6

